

地下水節水型消雪パイプ制御システムの現場試験（中間報告）

福嶋 祐介*・木本 二郎**・原 正 栄***・小林 敏 夫****・酒井 龍 市*****
石丸 民之永*****・八戸 剛 志*****

In Situ Experiments of Inverter-Controlled Snow-Melting Pipe System (Interim Report)

Yusuke FUKUSHIMA*, Jiro KIMOTO**, Masaei HARA***, Toshio KOBAYASHI****
Ryuichi SAKAI***** Taminoe ISHIMARU***** and Takeshi HACHINOHE*****

As a traditional snow-melting pipe system on the road sprinkles underground water from holes of the pipe laid underground, serious problems occur: i.e. sinking of the ground surface and the lack of ground water in spring. The new pipe system can prevent these problems and will make it possible to construct the snow pipe sprinkler network for the wider area. An inverter-controlled new system is developed under collaboration of Nagaoka University of Technology, Nagaoka City and private companies. In the system, the pump is controlled by a snow intensity meter. In order to investigate the efficiency of the new system, several measuring instruments are set in the system such as the discharge meter, the snow intensity meter, the temperature meter and three sets of the digital camera. All the measured data are sent by the use of the Internet through ADSL. All data except for the image data are sampled at one-minute interval. The image data are sampled at ten minutes interval. Thus, the in situ experiment in town has been made possible. The system is so stable that the lack of the data did not occur during the investigated period from the middle of January to the end of March, 2003

Key words : snow melting system, water sprinkling system, active control, inverter controlled pump, IT technology, in situ experiment

1. 序 論

環境への影響を最小限にし、消雪パイプに使用する地下水の有効利用と省エネルギーを目指して、新しい消雪パイプの開発を行っている。本稿はその第一年目の現場における実証試験の中間報告である。この実証試験は長岡市が長岡技術科学大学に研究を委託し、長岡市内の民間の業者とともに共同研究を行っているものである。

節水型の消雪パイプの発想は、これまでも何度か試みられているが、本研究ではインターネットを用いたデータ収集・監視・制御システムを用いている点に大きな特徴がある。2003年1月から3月18日まで、現場試験を行い、各種データの1分ごとの連続測定を実現した。また、現場に設置したライブカメラにより遠隔監視を行った。このデータは10分毎に保存された。



図1 節水型消雪パイプの融雪状況（2003年1月29日）

2. システムの概要

新しい消雪パイプ揚水量制御システム（節水型システム）開発のための現場試験では以下の三点が重要である。

- (1) 降雪強度計とインバータ制御を用いた水量制御装置を用いる。
- (2) 冬季間における現場での連続遠隔観測を可能にするため、ADSLを用いたインターネットによる入出力システムを組み込む。
- (3) 融雪効果を判定するため、隣接の降雪検知装置を

原稿受付：平成15年5月14日

*長岡技術科学大学環境・建設系

**長岡市

***近藤電気(株)

****大和電気産業(株)

***** (株)ウェブドゥ

*****新潟電気(株)

*****長岡技術科学大学建設工学専攻

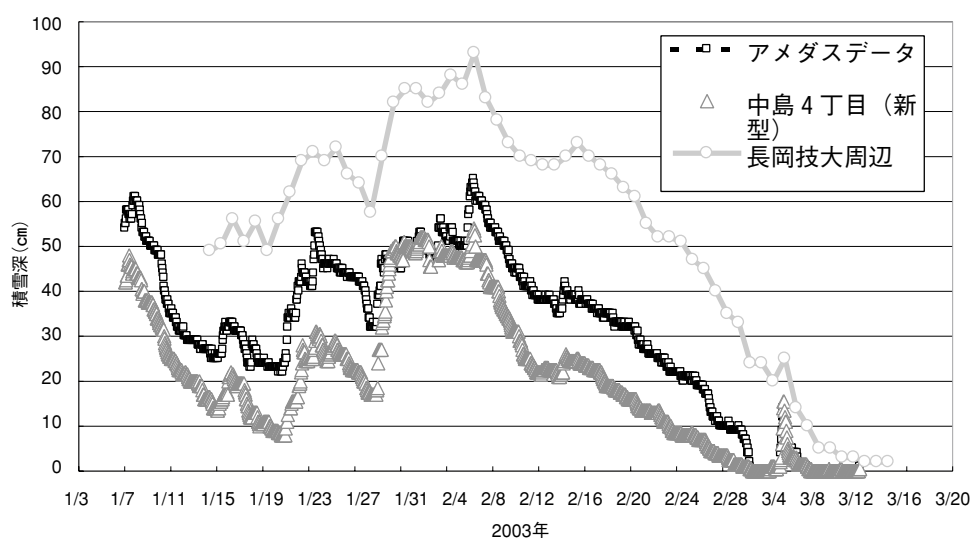


図2 2003年の降雪深の経日（アメダスデータ、中島中央公園、長岡技大）周辺

用いた在来型消雪パイプで揚水量を測定する。

以上により、揚水量、使用電力量などを在来型と節水型システムで比較し、節水効果、省エネルギー効果を測定する。降雪強度計¹⁾を設置し、現在の降雪強度をリアルタイムで測る。制御システムの構成は概略以下の通りである。まず、降雪強度を入力信号として、インバータ制御の揚水ポンプで降雪強度に応じた量の水を消雪パイプから散水する。地下水の節水効果を判断するため、流量計等の測定装置を設置した。データ収集システムとしてADSLを用いた。本システムでは、インターネットを利用して、全世界から、長岡市中島4丁目と6丁目の路面状況・消雪状況の確認とデータの閲覧、中島中央公園内の積雪状況の確認ができる。また、画像の撮影に当たっては、照明を行っており、夜間の遠隔地観測も可能である。

3. 現地実験の概要と測定項目

節水型の消雪パイプ制御部を設置したのは長岡市中島4丁目（長岡信金前、消雪パイプ総延長404m）である。節水型の消雪パイプの性能と比較するための在来型の消雪パイプは隣接する長岡市中島6丁目（中島中央公園前、消雪パイプ総延長520m）とした。尚、パイプの総延長は若干異なっているが、今回データの操作を行わず、測定結果をそのまま掲載した。

本調査の前に、前述の位置においてインバータ制御システム付の節水型消雪パイプと、降雪によりオン・オフを行うタイプの在来型消雪パイプで、消雪量の比較を画像から定性的に行った。

調査項目は以下の通りである。

- (1) 揚水流量…節水型、在来型両方に流量計を設置し、実際に使用された水量（揚水量）を計測する。
- (2) 地下水位…節水型側に投げ込み圧力式水位計を設置し、揚水量と水位との関係および季節（冬季の初期と終期）と水位等を測定する。
- (3) 使用電力…節水型側に設置し、既設電力使用量との比較に用いる。
- (4) 降雪量…節水型に取り付ける降雪強度計のデータを収集する。
- (5) 外気温…節水型制御盤に設置し、ポンプ運転強度と外気温との相対関係を調べる。
- (6) 管内圧力…揚水管内に設置し、流量計との相関を調べることにより、流量計の代替として使えるか否か検討する。
- (7) 積雪深…中島中央公園内に測量用のスタッフを取り付け、これを10分ごとに撮影し後で読み取る事により、積雪深を測定した。

新たな測定項目や制御パラメータについては順次修正できるシステムとした。

4. 今冬季の積雪量

図2にはアメダスデータ、中島6丁目（中島中央公園内でデジタルカメラの画像から判読）、長岡技術科学大学近くの田んぼで目測により測定した、今冬季の積雪深の経日変化が示されている。今冬季の降雪は、

表1 1月18日から3月15日までのデータの累計

	累計降雪深	総揚水量	総運転時間	使用電力量
	cm	m ³	分	kwh
節水型	84.5	3022.1	3171	718.7
在来型	—	7715.4	6898	2149.9
節水型／在来型		0.39	0.46	0.33

2002年11月にあったものの全体的には長岡市内では小雪であったといえる。

アメダスデータの積雪深が少し大きくなっているがそれでも90cm程度であり、過去の長岡市内の積雪深と比較すると少雪であったことがわかる。中島公園内の積雪深はアメダスデータに比べてやや小さく、長岡技大付近よりやや大きい。同じ市内でもこのように積雪深が異なることが降雪現象のような複雑な自然現象を反映しているともいえる。したがって、今回の消雪パイプの制御システムの入力値の精度を十分に考慮する必要がある。

5. 測定したデータの解析

図3に1日あたりの降雪深を足し合わせたもの（棒グラフ）と最大（黒丸）および平均地下水位（三角形）の関係を示す。この降雪強度の最大値は、揚水量のインバータ制御の関係もあり、最大で2.30cm/hに制限しており、これを足し合わせたものが実際の積雪深とはならないことに留意されたい。実際1月29日には1日で40cm程度積雪深が増加しているが、図3では累計降雪深は16cm程度増加しているだけである。図1はこのときの節水型消雪パイプの設置してある路面の状況を示した写真である。このようにかなりの降雪があっても消雪状況は同程度であり路面状況は在来型と変わらないことが多数のライブカメラの画像から判定された。

図4は制御システムを節水型に切り替えた時点以降の1日あたりの揚水量の経日変化を示したものである。灰色の棒グラフが在来型の消雪パイプを、白抜き棒グラフが節水型の消雪パイプの揚水量を示している。当然ながら降雪強度が大きい場合には、在来型、節水型とも消雪ポンプは降雪に応じて運転され、地下水はくみ上げられる。しかし、揚水量には大きな差があり、1、2の例外はあるが、節水型の揚水量は在来型の揚水量に比べ、半分から1／3にも減少している。特に降雪強度が小さい場合には節水型の消雪パイプは盛んに揚水量が変化するので、節水効果は大きい。

消雪パイプの揚水に用いる電力は電力会社との契約の都合上、通常の家庭用の電気の供給とは異なり、午後2時から午後3時、午後4時から午後5時は消雪パイプへの電気の供給はされない（第2融雪電力と呼ばれる）。このため、図3、図4の節水型の値にはこの時間のデータを入れていない。

一方、旧建設省北陸地方建設局が定めた設計指針によると、消雪パイプに供給する水量の算定式は次のようになっている²⁾。すなわち、消雪パイプにおける単位面積あたりの必要散水量は次式で表されるという。

$$q = \frac{h_s \rho_s (K + C_s |t_s| + C_w t_2)}{6ak\rho_w C_w (t_1 - t_2 - t_r)} \quad (1)$$

ここで、 q は単位面積あたりの必要水量（ℓ/min）、 h_s は設計時間降雪深（cm/h）、 ρ_s は降雪密度（g/cm³）、 ρ_w は水の密度（g/cm³）、 t_s は降雪の温度℃、 t_1 は散水するときの水温（散水温℃）、 t_2 は散水された水が側溝に流れ落ちるときの水温（末端水温：℃）、 C_s は水の比熱（2.1J/g℃）、 C_w は水の比熱（4.2 J/g℃）、 k は氷の融解潜熱（334J/g）、 a は車両通行による攪拌効果係数、 t_r は車両通行による水温低下（℃）である。この式における設計時間降雪深 h_s は次式により算出される。

$$h_s = 0.425 H_m^{0.7} \quad (2)$$

ここに、 H_m は平均日降雪深（cm/d）である。なお、平均に日降雪深 H_m は過去数年間の降雪日（積雪が1cm以上）あたりの平均値が与えられる²⁾。式（1）、式（2）より、消雪に要する散水量を求めることができる。一方、ポンプの最大揚水量は、実測の結果1.125m³/minであり、これに対応する降雪強度を求めると2.3cm/hであった。昨年度の場合に式（2）を当てはめると2.3cm/hになるので、これ以上の降雪があった場合には揚水量を最大値の1.125m³/minとすることになる。

図5は1日当たりの運転時間の経日変化である。この図をみると、節水型の消雪パイプでは明らかに運転

時間が短くなっていることがわかる。図6は1日当たりの使用電力量の経日変化を示したものである。在来型の使用電力量は、1日当たりの運転時間に定数をかけて求めている。節水型の使用電力量は1分当たりで求められた使用電力量を積算したものである。このように節水型の消雪パイプは在来型と比べると1/2から1/3の使用電力量であり、省エネルギーの効果が高いことが分かる。以上の結果を総括して表1に示す。総揚水量、総運転時間、総使用電力量とも節水型の消雪パイプは在来型の3割から5割の範囲にあり、節水

効果および省エネルギー効果がかなりあることがわかる。累計降雪深の値がかなり小さいがこれは、降雪強度計の最大出力を2.3cm/hにしているためで実際にはこれよりも大きな降雪があったと判断される。

このように節水型消雪パイプでは在来型に比べ、大きな節水効果、省エネルギー効果があった。消雪効果を精密に定量的に測定するのは困難であるが、現地に設置したライブカメラ及び現場での観測によれば、節水型と在来型とは同様の消雪効果があると確認できた(図1参照)。

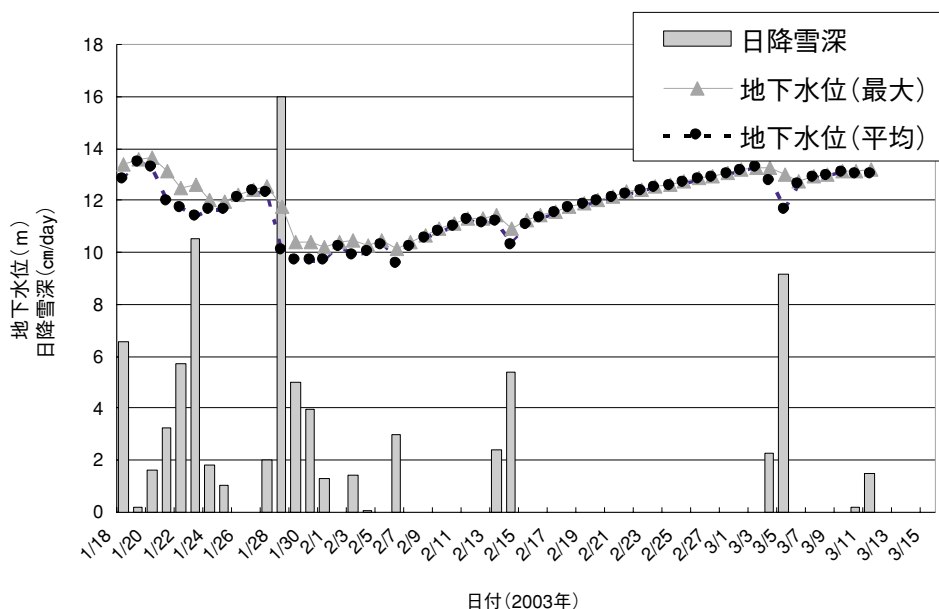


図3 1日あたりの降雪深の累計と最大および平均地下水位の関係(2003年1月18日から3月15日まで)

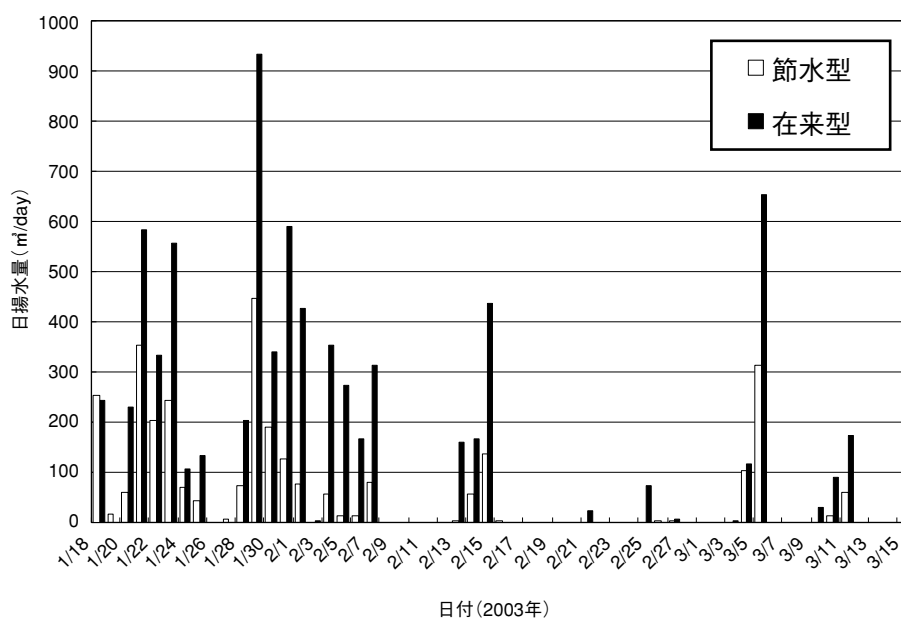


図4 1日あたりの積算用水量(2003年1月18日から3月15日まで)

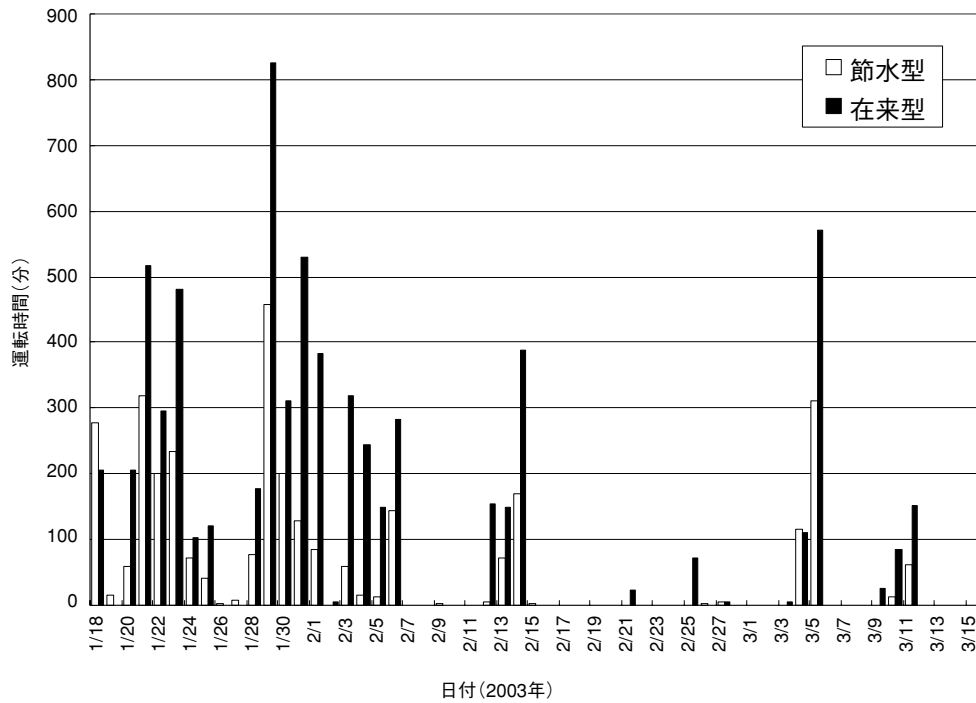


図5 1日当たりの積算運転時間（分）の経日変化（2003年1月18日から3月15日まで）

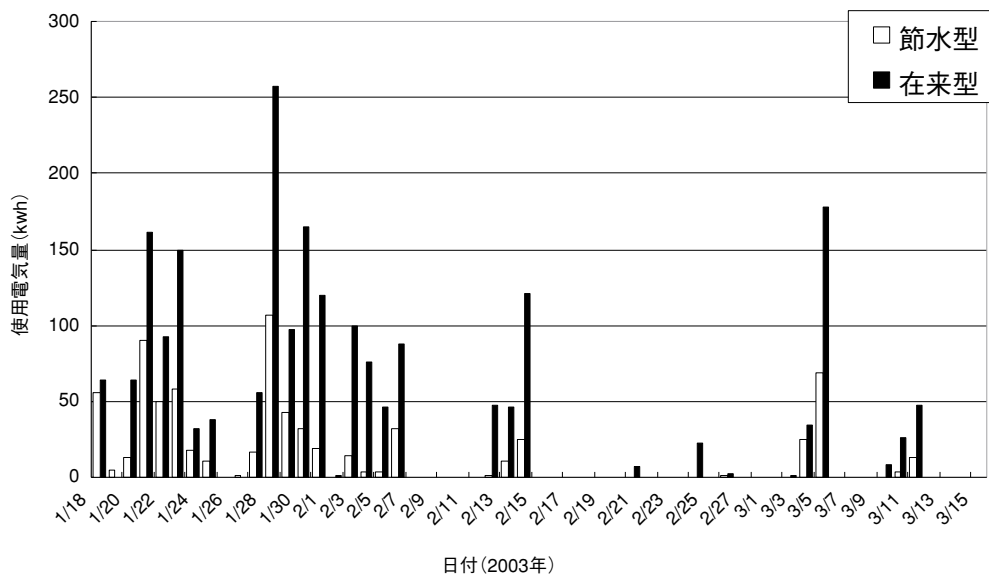


図6 1日当たりの使用電力量（kWh）の経日変化（2003年1月18日から3月15日まで）

6. 結 論

以上のように今回開発した消雪パイプシステムはインバータで揚水量を制御するため、最小限の水しか使わず、ポンプの運転時間も短く、省エネルギー効果も高い。ただし、コスト面では従来の降雪検知器を使う

システムに比べて2から3割程度は高くなる。しかし、今回のような高機能の消雪パイプシステムとすることで効率的な水の利用が可能になり、消雪パイプの更なる普及が可能になる点は大きな特長であるといえる。

節水型消雪パイプを開発することを目的として、長岡市が長岡技術科学大学に研究依頼する形で本研究は開始した。しかし、このシステムを構築するのは第一

著者の手に余ることから、長岡市内の数社の協力を得ることとして、「産官学」の共同研究として本研究が開始された。しかし、研究期間が2年あまりと短いことから、新しいシステムの実用化を図るためには、部分的には粗いシステムとなっているかもしれない。システムの設計上降雪検知から散水量制御までの一連のシステムの制度性との整合性を計りながら、総合的な判断が必要とされる。このことは降雪・積雪以外の諸自然現象の研究と同様、予測できないところもあった。「実用化」という視点を見据えて、総合的な判断のもとに研究を遂行させたいと考える。

謝 辞

最後に、本システムの開発に尽力された、酒井興喜夫（株酒井無線）、新保松夫、今井秀夫（株ジェスクホリウチ）、大久保貴光（大和電気産業株）、佐々木俊郎、斎木正人、畔上信康（株ウェブドゥ）、村田圭児、八木健太郎（長岡技術科学大学）の各位に感謝する。この実証試験は今冬季にも予定されており、実証化に向けて、更なるデータの蓄積を図るとともに、詳細なデータ解析を行い、本システムの改良をはかる予定でいる。

参考文献

- 1) 茅亮・石丸民之永・加藤務・宮越秀巳、水滴計式降雪強度センサー・CSN-501、雪氷北信越、1995.
- 2) 散水消雪施設設計施工マニュアル編集委員会、散水消雪施設設計施工マニュアル、建設省北陸地方建設局道路監修、2000.3.